

# Land- Seewind-Zirkulation



# Übersicht

- **Einleitung und allgemeine Grundlagen**
- **Ursachen**
- **Theorie**
- **Modellbeispiele**

# Land- Seewind-Zirkulation

## Einleitung und allgemeine Grundlagen:

- Der Land- Seewind gehört zu einem kleinräumigen Windsystem, welches mit einer regelmäßigen Häufigkeit auftritt und somit das Klima in dieser Region prägt
- Dabei spielt der Einfluß von Strahlungs- und Strömungsverhältnissen sowie Orographie eine wichtige Rolle —▶ orographische Winde
- An Tagen mit geringen Druckgegensätzen ist im Sommerhalbjahr ein stark ausgeprägter Windrichtungswechsel an Tag und Nacht zu beobachten
- Tagsüber weht der Wind von der See zum Land —▶ Seewind
- Nachts weht der Wind vom Land zur See —▶ Landwind
- ▶ Winde erzeugen ein Zirkulationssystem

# Ursachen

## Ursachen:

- Unterschiedliche physikalische Wärmeeigenschaften von Wasser und Festland
- Wasser hat eine spezifische Wärme von  $c = 4,2 \cdot 10^3 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$
- Festland weist einen halb so großen Wert auf, also erwärmt sich bei gleicher Einstrahlung pro Masseneinheit doppelt so stark wie das Wasser
- Erreicht die Strahlung den Erdboden, so wird nur eine dünne Oberschicht erwärmt
- Beim Wasser dringt die Strahlung mehrere Dekameter tief ein  $\longrightarrow$  größeres Wasservolumen wird erwärmt
- Über dem Meer beträgt die Amplitude der Lufttemperatur rund 1 K und über dem Land werden 15 K erreicht, unmittelbar an der Erdoberfläche ist der Unterschied sogar noch größer
  - $\longrightarrow$  Vorhandensein eines Temperaturgefälles führt zu Dichteunterschied über Land und Meer

# Beispiel

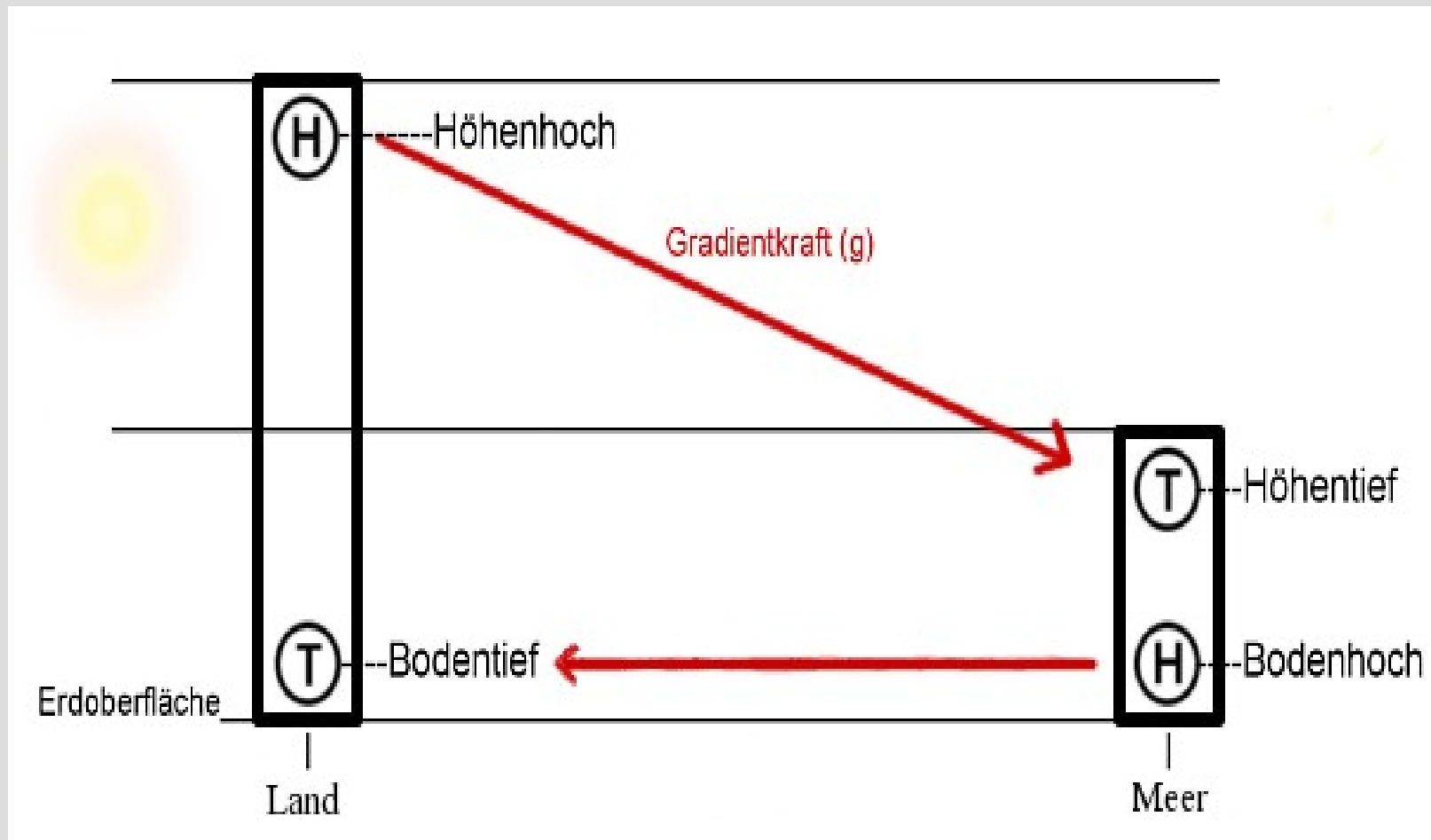


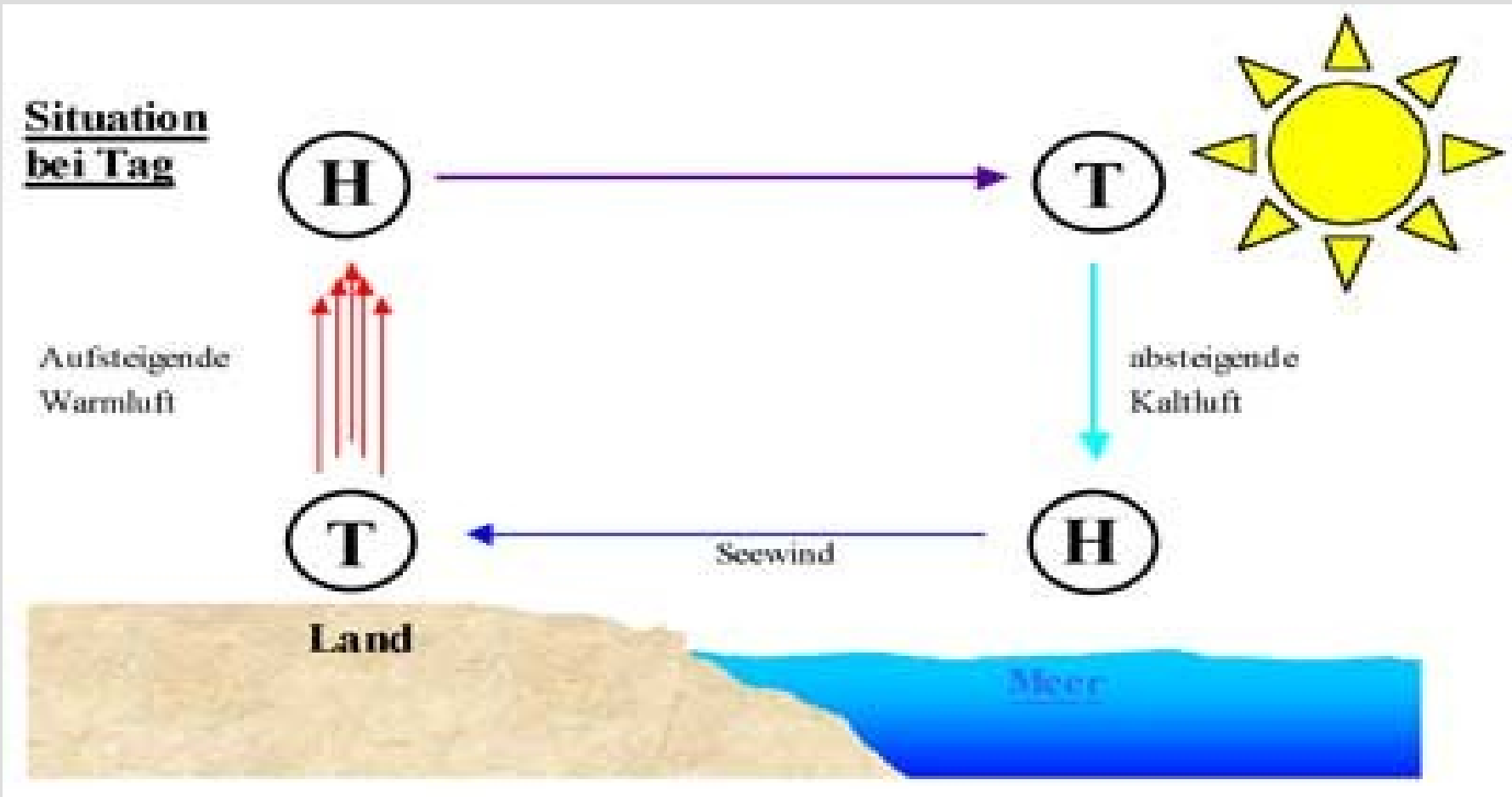
Abb.1: Schema über das entstehende Druckgefälle zwischen Land und Meer

# Seewind

- Da der Land- und Seewind nur bei gradientschwachen Wetterlagen zu beobachten ist, herrscht zunächst am Morgen sowohl der gleiche Bodenluftdruck über Land und Meer als auch in der Höhe der gleiche Luftdruck:
  - > Druckflächen über dem Land werden gegenüber den über dem Meer angehoben
  - > Druckgefälle in der Höhe vom Land zur See mit entsprechender Höhenwindkomponente
- Aufgrund Abströmen der Luft in der Höhe (über Land) fällt der Luftdruck in Bodennähe über dem Festland —> Massenzustrom über dem Meer mit resultierender Druckerhöhung
  - > Folge ist eine Ausgleichsströmung in Bodennähe von der See zum Land, der **Seewind**

Durch Aufsteigen der erwärmten Luft über Land und Absinken über dem Meer entsteht eine **geschlossene thermische Zirkulation**

# Folie Seewind



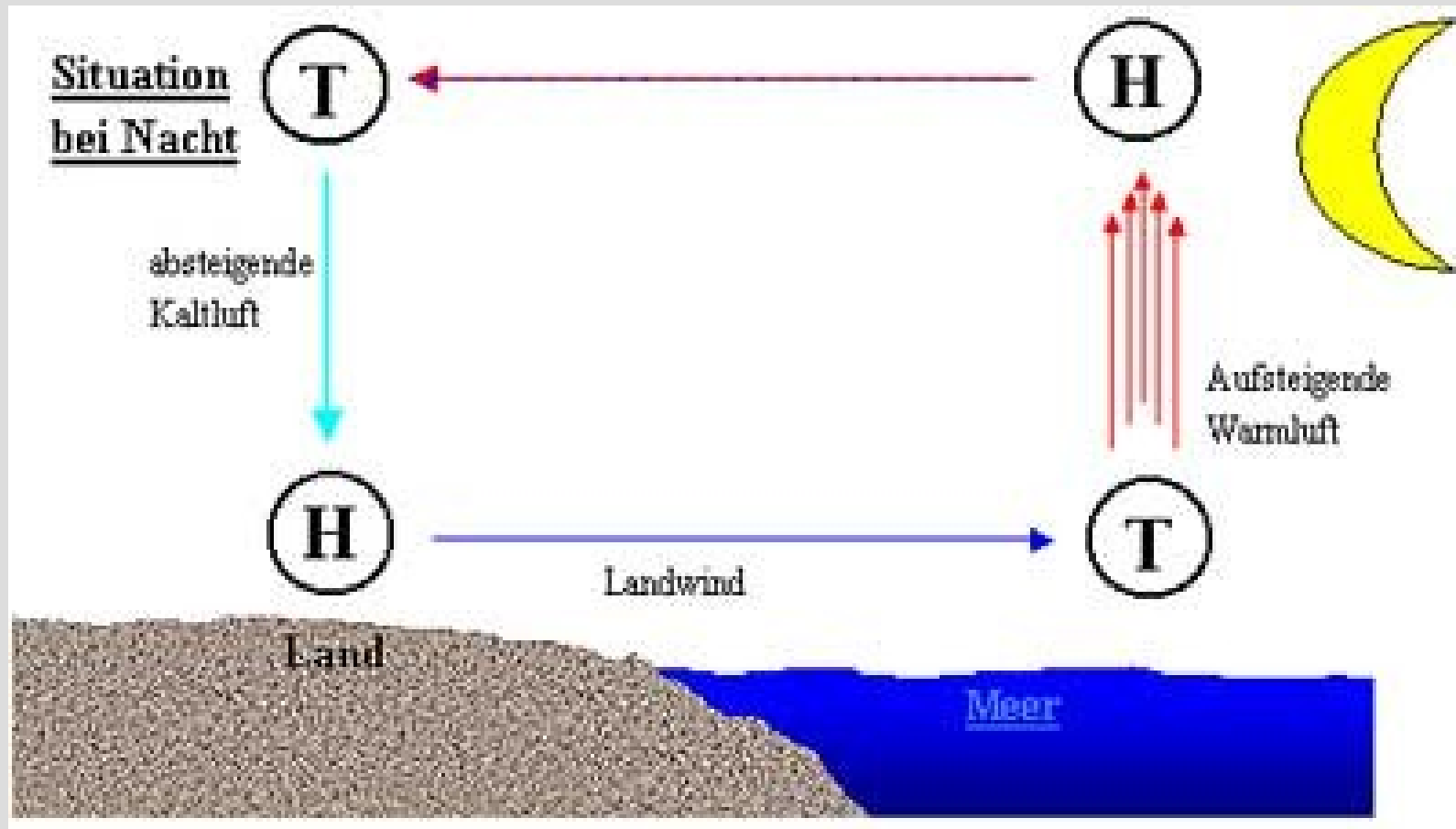
# Landwind

- Nachts kehren sich die thermischen Verhältnisse um:
- Festland kühlt sich jetzt schneller ab, und das Meer ist aufgrund seiner höheren Wärmespeicherung wärmer
- Über dem Meer strömt die Luft in die Höhe → Druckgefälle vom Meer zum Land
- Wegen der abströmenden Luft in der Höhe (über Meer) fällt der Luftdruck in der Bodennähe über dem Meer → Massenzustrom über dem Land mit resultierender Druckerhöhung
  - Ausgleichsströmung am Boden vom Land zur See, der Landwind

Hier ist wie beim Seewind eine geschlossene thermische Zirkulation entstanden, also Aufsteigen der wärmeren Luft über der See und Absinken über dem Festland



# Folie Landwind



# Theorie

Mit dem Begriff der Zirkulation verbindet man in der Meteorologie häufig kleinräumige Systeme wie Land- Seewinde, bei denen der Einfluss der Corioliskraft vernachlässigt werden kann:

Definition der Zirkulation:

$$C = \oint_S \vec{v} \cdot d\vec{s} = \oint_S v_s ds$$

Dabei ist S der Weg entlang einer geschlossenen Kurve und  $v_s$  die Geschwindigkeitskomponente in Richtung des Kurvenvektors  $s$ .

# Zirkulationsgleichung

Ableitung der Zirkulationsgleichung

$$d \frac{\vec{v}}{dt} = -\nabla \Phi - \frac{1}{\rho} \nabla p$$

Anwendung des Kurvenintegrals auf diese Bew.-Gl:

$$\oint d \frac{\vec{v}}{dt} \cdot d \vec{s} = -\oint \nabla \Phi \cdot d \vec{s} - \oint \left(\frac{1}{\rho}\right) \nabla p \cdot d \vec{s}$$

# Zirkulationsgleichung

Umformen der linken Seite durch partielle Integration:

$$\oint d \frac{\vec{v}}{dt} \cdot d \vec{s} = \oint \left( \frac{d}{dt} \right) \vec{v} \cdot d \vec{s} - \oint \vec{v} \cdot \left( \frac{d}{dt} \right) d \vec{s} = \oint \left( \frac{d}{dt} \right) v_s ds - \oint v_s \left( \frac{d}{dt} \right) ds$$

Wegen  $d(ds)/dt = dv_s$  gilt:

$$\oint d \frac{\vec{v}}{dt} \cdot d \vec{s} = \oint \left( \frac{d}{dt} \right) v_s ds - \oint v_s d v_s$$

# Zirkulationsgleichung

Umformen der rechten Seite ergibt mit

$$\nabla \Phi \cdot d \vec{s} = d \Phi$$

$$\nabla p \cdot d \vec{s} = dp$$

Damit gilt insgesamt dann:

$$\oint \left( \frac{d}{dt} \right) v_s ds - \oint d \left( \frac{v_s^2}{2} \right) = - \oint d \Phi - \oint \left( \frac{1}{\rho} \right) dp$$

# Zirkulationsgleichung

Da ein geschlossenes Linienintegral über ein totales Differential verschwindet, gilt:

$$\oint d\left(\frac{v_s^2}{2}\right) = \oint d\Phi = 0$$

Damit folgt für die zeitliche Änderung der Zirkulation:

$$\frac{dC}{dt} = \left(\frac{d}{dt}\right) \oint v_s ds = - \oint \left(\frac{dp}{\rho}\right)$$

# Zirkulationsgleichung

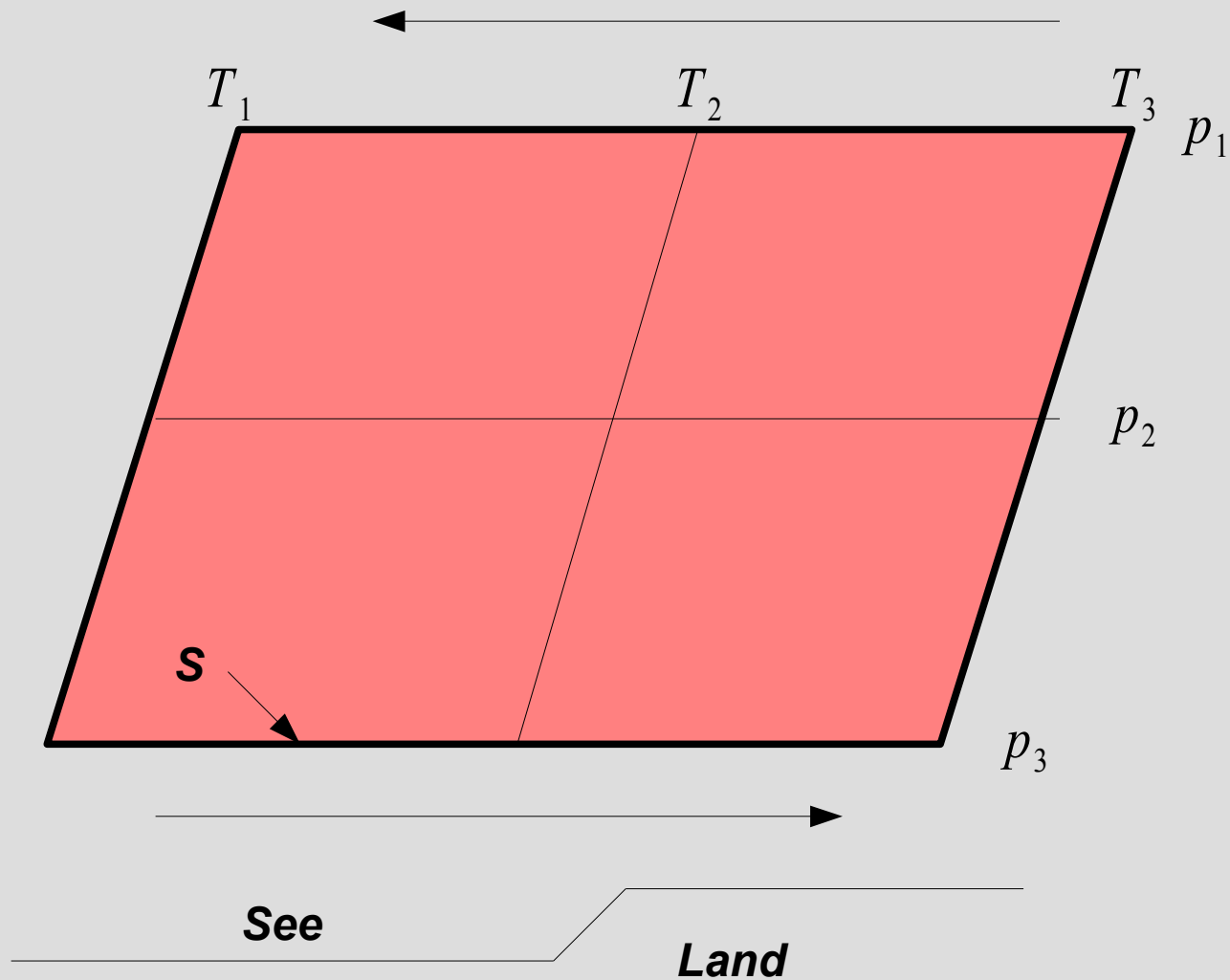
Setzt man nun in die rechte Seite von der Gl. der zeitl. Änderung die Zustandsgleichung für ideale Gase ein, also

$$p = \rho RT$$

Dann erhält man die Zirkulationsgleichung:

$$\frac{dC}{dt} = - \oint \left( \frac{RT}{p} \right) dp = - \oint RT d(\ln p)$$

# Zirkulation in einem Land- Seewind-System





# Seewind

Zirkulationsgleichung für den Seewind:

$$\frac{dC}{dt} = R \ln\left(\frac{p_3}{p_1}\right) (T_3 - T_1) > 0 \quad \text{tagsüber}$$

Hierbei ist die Zirkulationsrichtung positiv, d.h der Temperaturgegensatz zwischen Land und See bewirkt eine bodennahe Zirkulation vom Wasser zum Land, in der Höhe umgekehrt.

# Landwind

Zirkulationsgleichung für den Landwind:

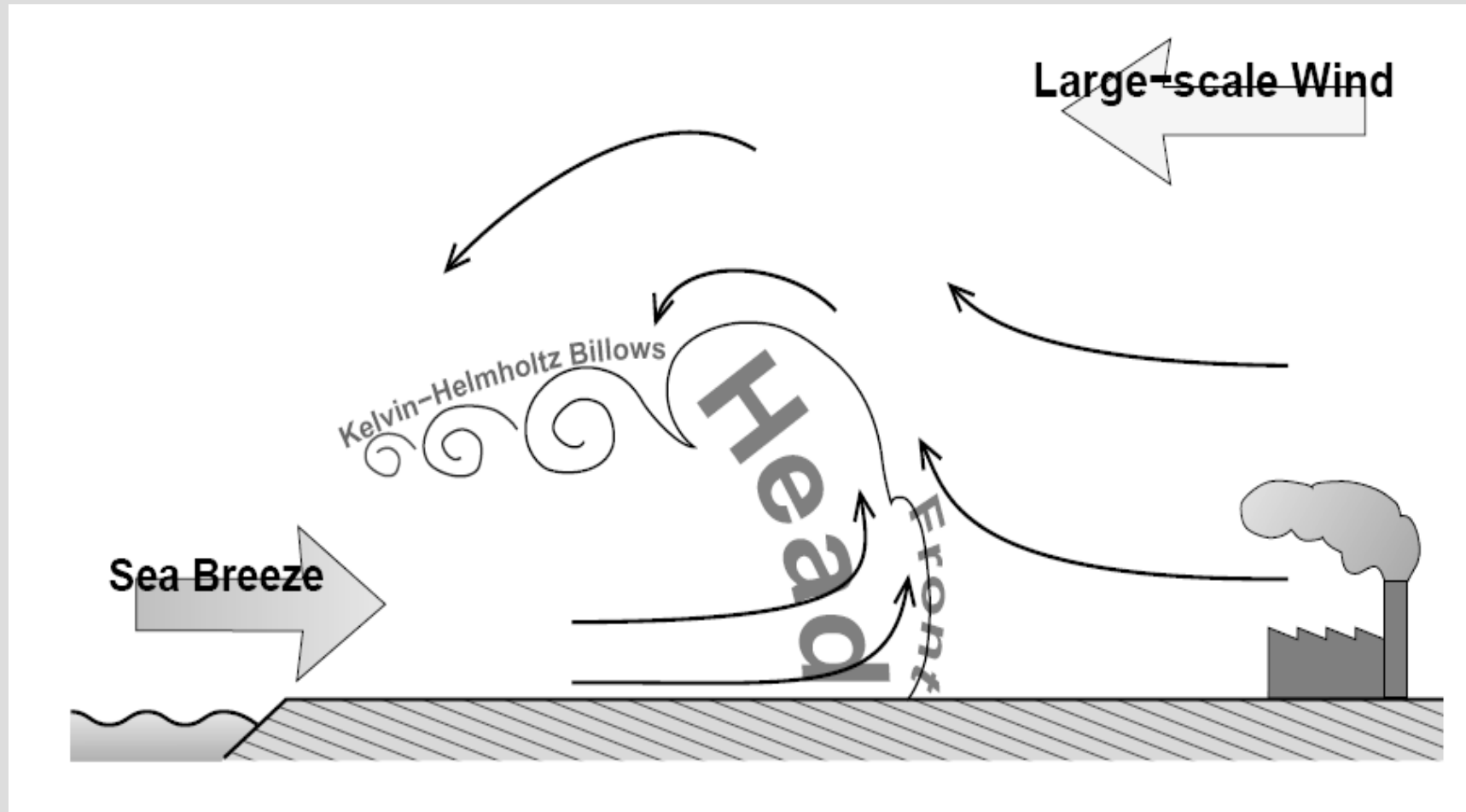
$$\frac{dC}{dt} = R \ln \left( \frac{p_3}{p_1} \right) (T_3 - T_1) < 0 \quad \text{nachts}$$

Hierbei ist die Zirkulationsrichtung negativ, da sich die Temperaturverhältnisse umkehren, also das Land ist kälter als das Meer ( $T_1 > T_2 > T_3$ ).

Damit baut sich eine bodennahe Strömung vom Land zum Meer auf.

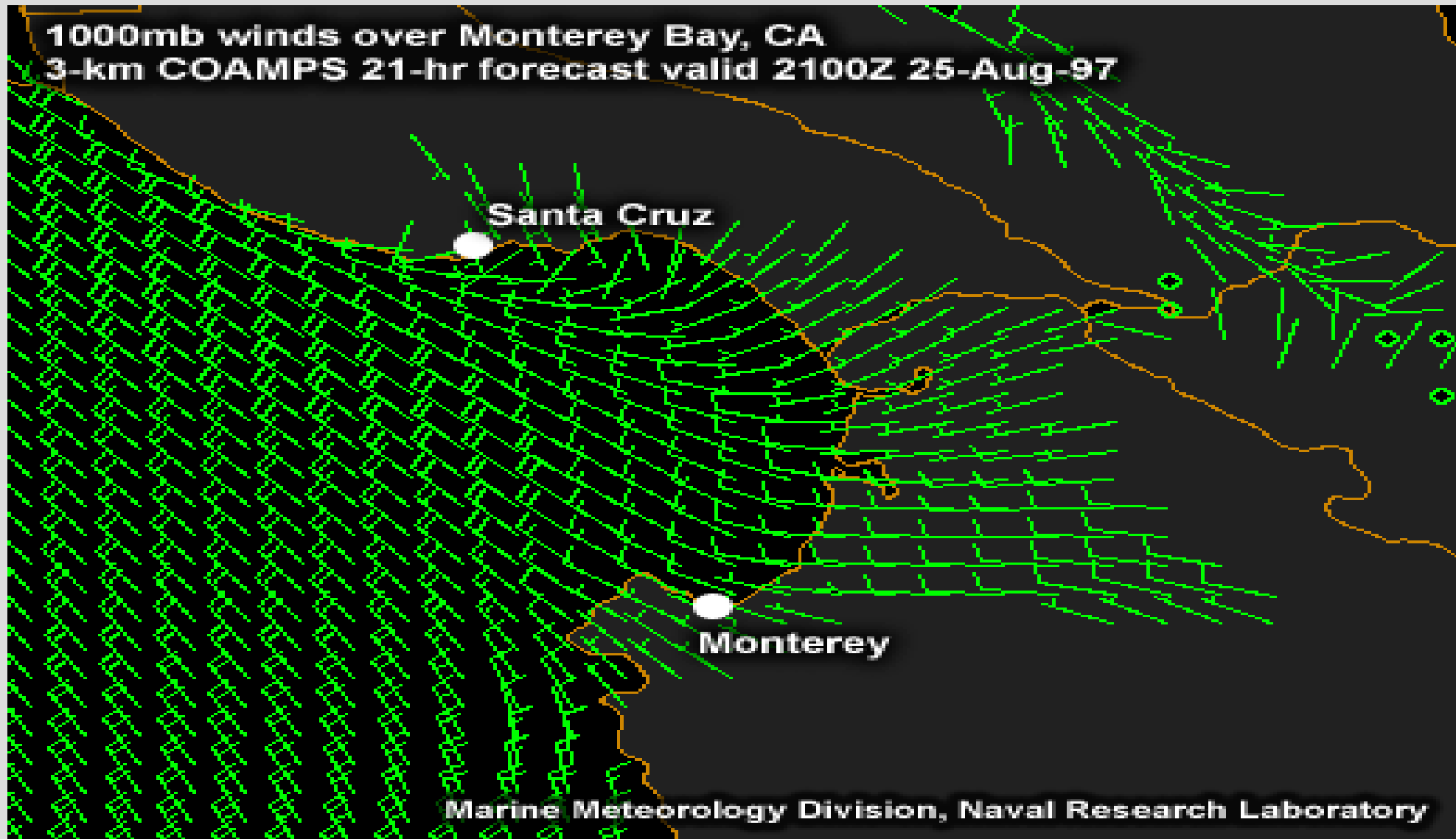
Allgemein erfolgt in Bodennähe bei beiden Zirkulationstypen eine Strömung vom Kalten zum Warmen.

# Modellbeispiel 1

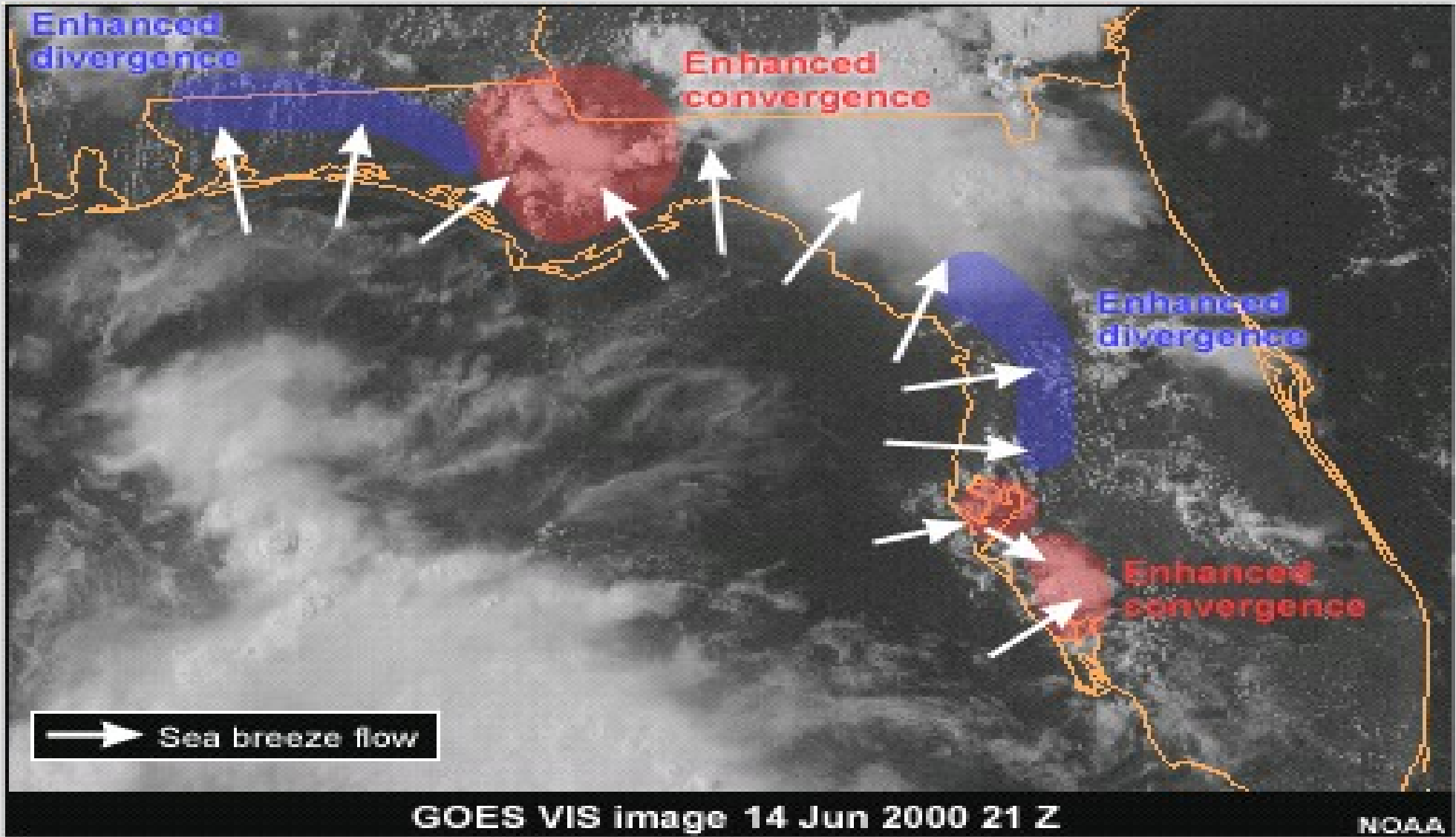


Seewindfront eines Land- Seewind-Systems

# Modellbeispiel 2



# Modellbeispiel 3



# Literaturverzeichnis

- **Theoretische Meteorologie, Dieter Etling**
- **Meteorologie und Klimatologie, Malberg**
- **[www.meted.ucar.edu/mesoprim/seabreez/print.htm](http://www.meted.ucar.edu/mesoprim/seabreez/print.htm)**
- **[www.zmaw.de/fileadmin/Bib/Volltexte/ZMK-A23.pdf](http://www.zmaw.de/fileadmin/Bib/Volltexte/ZMK-A23.pdf)**
- **[www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)**